

Two-Region Flow 法を用いた高粘性油汚染地盤の非掘削浄化

大同大学 学生会員 山田智之
大同大学 学生会員 窪田豪人
大同大学 学生会員 林 雅人
大同大学 正会員 棚橋秀行

1. はじめに

油汚染対策ガイドライン¹⁾が2006年3月に制定され、主に揮発性油に関する研究及び対策は進められているが、ガイドラインには土粒子への粘着性が高く揮発性が低い機械油などの潤滑油による汚染地盤を原位置・非掘削において浄化する技術は提示されていない。

そこで、本研究室ではエンジンオイルなどの高粘性油による汚染地盤に対して、界面活性剤を注入することで油を乳化させ非掘削浄化する技術について実験を行ってきた。これまでに開発した「毛管上昇ウェルポイント法」は、毛管上昇してきた乳化油を汚染ゾーンの上部に埋設した吸引ポイントから回収することで、浄化の達成は実現できたが、その性格上空気を吸ってしまうことによる浄化の長期化という課題が残された²⁾。これに対し新たに開発した「Two-Region Flow 法」では、界面活性剤濃度の違いによる粘性の差に着目し、高濃度の界面活性剤を吸引ポイント上部に与え空気を遮蔽する被覆として使うことで、低濃度の界面活性剤の浸透性を高めることを考えた。エンジンオイル汚染土を充填した土槽を用いて「Two-Region Flow 法」での浄化実験を行ってみたところ、好ましい浄化期間短縮が確認できた。本報告は、前述の「毛管上昇ウェルポイント法」および「Two-Region Flow 法」の室内実験を通じて得られた知見を報告するものである。

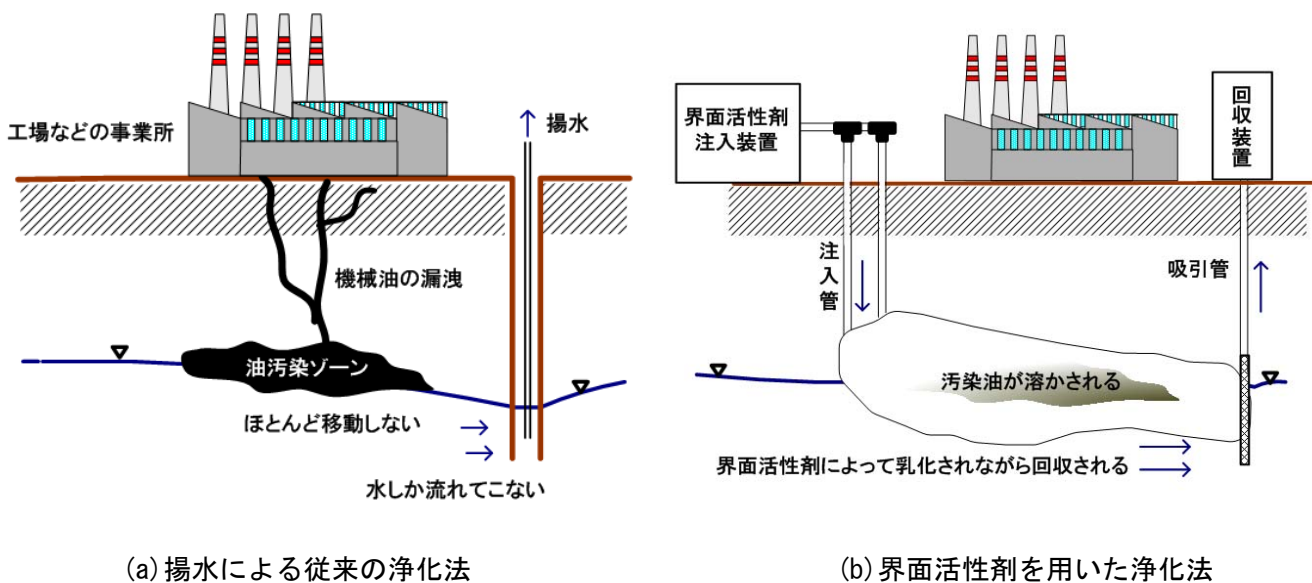


図 - 1 界面活性剤による油汚染地盤の非掘削浄化工法と揚水の比較

Non excavation purification method of Two Region flow for the ground polluted by high viscosity oil
Tomoyuki YAMADA (dmc0909@stumail.daido-it.ac.jp) , Hideto KUBOTA , Masato HAYASHI and Hideyuki TANAHASHI , DAIDO university.

2. 毛管上昇ウェルポイント法を用いた非掘削浄化実験

2.1 卓上小型 2 次元土槽実験

2.1.1 実験方法

界面活性剤を注入することで、時間経過と共に乳化した油が毛管力によって上昇して汚染が拡散してしまう事が分かっている。毛管上昇ウェルポイント法は、毛管上昇帯のやや上に吸引孔を埋設して、毛管上昇を利用して乳化油を効率よく吸引回収する方法である。この毛管上昇ウェルポイント浄化法(Case - A)と流下式浄化法(Case - B)を比較する実験を行い、浄化の速度や効果などを確認した。

実験試料は豊浦砂を使用し、エンジンオイルをズダン IV で赤く着色したものを土試料に混ぜ汚染土とした。界面活性剤には、ペレソフト 205(ミヨシ油脂製)を 5%に希釈した水溶液を用いた。実験装置は卓上小型 2 次元土槽(内寸幅 41.0 cm, 高さ 29.5 cm, 奥行き 3.8 cm)を使用し、下より豊浦砂, 油汚染土, 豊浦砂の順に充填した。

AB 両土槽とも左端には井戸(オールスリット)を設けた。写真 - 1~4 に示した位置が水位となるようにオーバーフローさせた。B の流下式浄化法では井戸からオーバーフローした排液の回収のみを行い、A の毛管上昇ウェルポイント法では、さらに吸引孔を埋設して毛管上昇してきた乳化油を吸引することとした。

2.1.2 実験状況

実験開始直後の写真 - 1では、比較してみてもさほど大きな違いはないことが見受けられる。しかし、実験開始から16時間後の写真 - 2の様子を見ると、大きく進捗具合が異なっている。写真 - 3は実験開始から68時間の様子である。流下式では、乳化した油が上昇してしまっているのが見受けられる。しかし、毛管上昇ウェルポイント法では、乳化油を吸引によって回収しているため、余計な所への上昇を抑制していることが目視できる。写真 - 4は実験開始から112時間後の様子である。毛管上昇ウェルポイント法で行っているAが、変化があまり見られなくなったので両実験を終了した。その後、写真 - 4に示すように12分割し、ノルマルヘキサン抽出法で残留油分重量を測定した。毛管上昇ウェルポイント法では、すべてのブロックで0.7%以下となっており、視覚だけでなく測定結果からも乳化したエンジンオイルを効率的に回収できていることが確認できた。

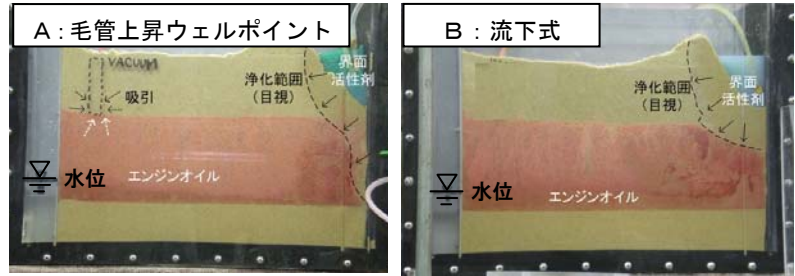


写真 - 1 実験開始直後

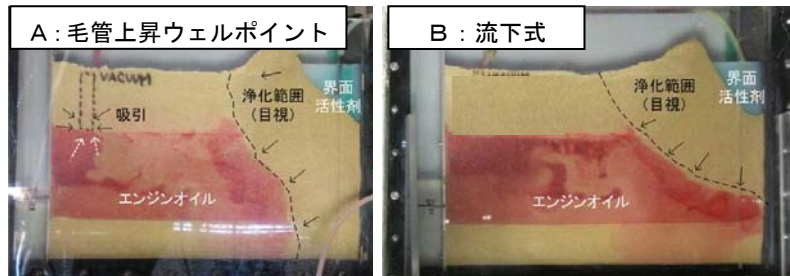


写真 - 2 実験開始 16 時間後

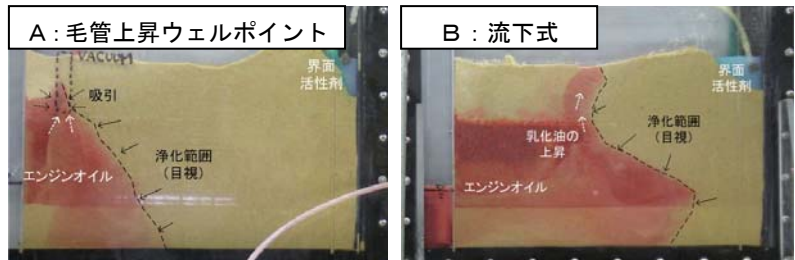


写真 - 3 実験開始 68 時間後

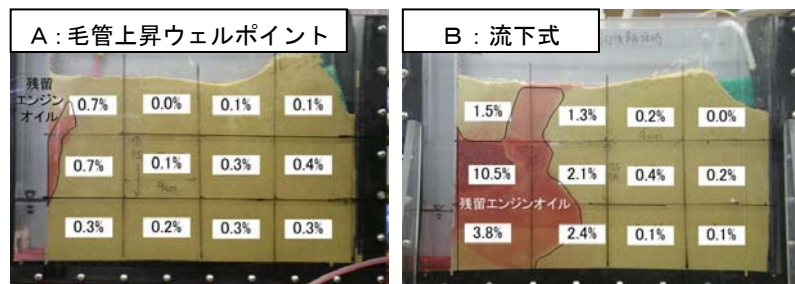


写真 - 4 実験開始 112 時間後

(数字は残留油分 (%) を示す)

2.2 大型2次元土槽実験

2.2.1 実験方法

前項の卓上小型2次元土槽実験の後行った補足実験より、本研究で使用している界面活性剤ペレソフト205の濃度は、非掘削での洗浄性能を保つには、1%が限界であることが分かった。濃度を5%から1%へと小さくして粘性を下げることによって、地表面から投与した場合の浸透速度が上昇し、土中に圧入する際にも時間当たりの供給量を増やせることが確認できた。この成果をもとに大型2次元土槽にて実験を行ない、横方向の浄化可能な範囲を観察することにした。

実験土試料は豊浦砂と砂利を重量比1:1で混ぜたものを使用し、汚染土はエンジンオイルをズダンIVで赤く着色したものをこの土試料に混ぜたものを使用した。実験装置は大型2次元土槽（高さ100cm×幅164cm×奥行き12.5cm）を使用し、写真-5に図示した位置を初期地下水位とした。また、初期汚染ゾーンを下から3段目の観測用窓付近の全幅とし、吸引孔及び圧入孔を写真-5に図示した位置に埋設した。

2.2.2 実験状況

界面活性剤を圧入速度毎分10mlで圧入した。圧入開始からしばらくは毛管上昇ウェルポイント法での回収は行わず、界面活性剤が横方向に広がるのをまつことにした。目安として右井戸への乳化油の流出がおさまりに、界面活性剤の水溶液に近い排液となるまでとした。写真-6は圧入開始から17時間後の様子である。界面活性剤を圧入孔から供給している、右から2つ目の観測用窓から浄化されているのが目視することができる。また、圧入することで、汚染油が地下水水位付近まで下降しているの見受けられる。さらに圧入孔より供給を続け、実験開始から88時間後の写真-7では図示した観測用窓3つ分が浄化範囲となった。このころ、右井戸からの排液も乳化油ではなく、界面活性剤のみが排出されるようになったので、これより毛管上昇ウェルポイント法に切り替え実験を行った。しかし、吸引を開始して1時間半後の写真-8と写真-7を比較してわかるように、油汚染エリアはほとんど減少せず、このペースで実験を行っていくと、膨大な時間を必要とすると考えら

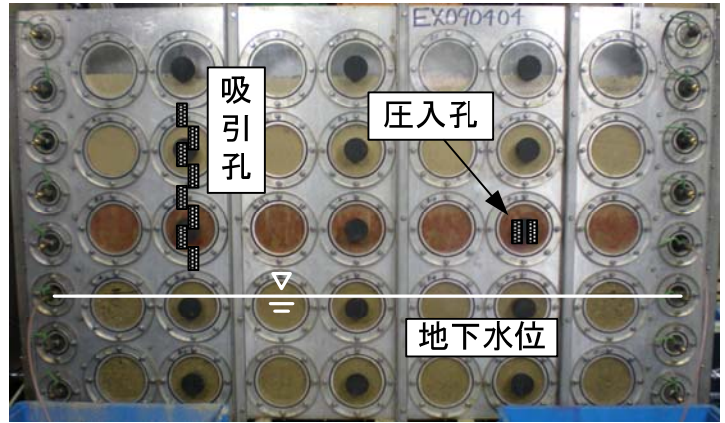


写真 - 5 初期状態

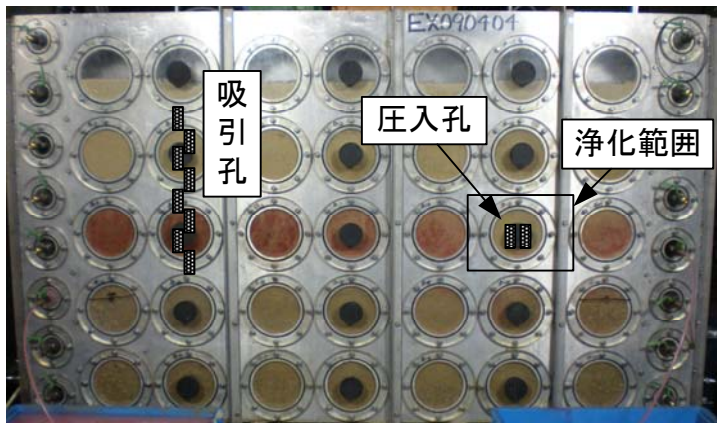


写真 - 6 実験開始 17 時間後

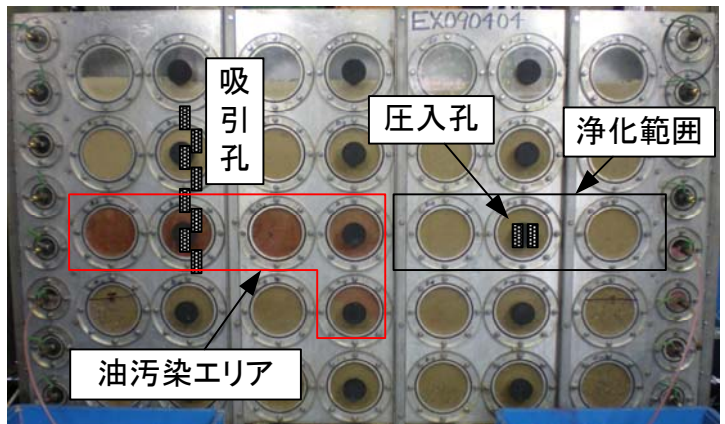


写真 - 7 実験開始 88 時間後

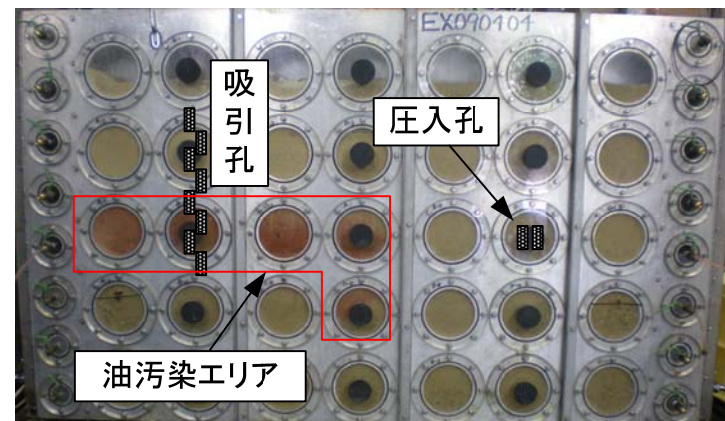


写真 - 8 吸引開始 1 時間半後

れたため実験を一時中断した。

2.2.3 結果

卓上小型2次元土槽での毛管上昇ウェルポイント法では、界面活性剤投与ポイントと吸引孔が近かったため下にもぐる事が問題として認識されなかった。しかし、今回の大型2次元土槽では、図-2に示すように横方向の距離が伸びたため、比重の違いによって界面活性剤が油汚染土の下へともぐったまま、左井戸へ排出されてしまった。また、吸引を行う際に覆土を通じて、空気を吸ってしまい負圧がかかりにくく、界面活性剤を油汚染土と接触させることができなかつたため、油汚染エリアが減少しなかつたと推測される。よって、負圧を高め界面活性剤が油汚染土に接するように吸引する何らかの方法を考える必要という課題が抽出された。

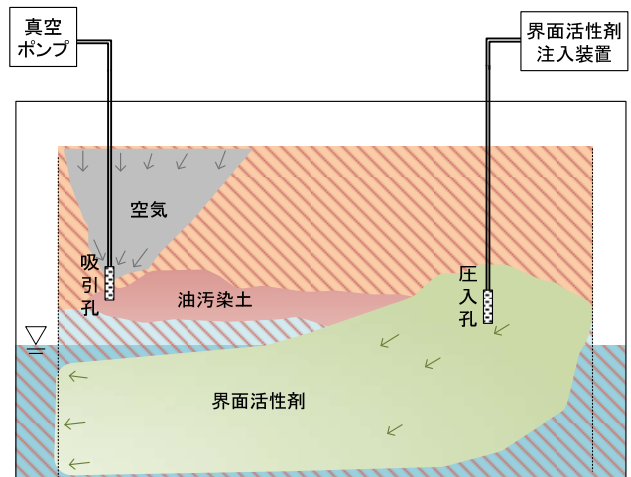


図-2 観察された挙動

3. 卓上小型2次元土槽を用いた追加実験

3.1 実験方法

中断した大型2次元土槽実験の問題点に対し、吸引孔上部に何らかの形で、被覆することで吸引圧を効果的に作用させることができるのではないかと考えた。試行錯誤の結果、界面活性剤の濃度を変えることによって、粘性が変化する特性を利用すれば、被覆に近い効果があるのではないかと考えた。実験装置は卓上小型2次元土槽(内寸幅41.0cm, 高さ29.5cm, 奥行き3.8cm)を使用した。実験土試料は豊浦砂に砂利を混ぜたものにズダンIVで赤く着色したエンジンオイルを混ぜたものを使用した。図-3に示すように吸引孔を埋設し、油汚染土を全面に充填し初期状態とした。また、吸引孔上部に濃度が高い高粘性の界面活性剤を投与し、実際に浄化をさせるための界面活性剤は従来通りの1%の薄い界面活性剤を投与して実験を行った。

3.2 実験状況

写真-9は実験開始1時間後の様子である。この実験の狙い通りに濃い界面活性剤によって、吸引孔上部からの空気の通り道を被覆することができ、負圧が全体的にかかり吸引孔へ薄い界面活性剤の流れ、今までで最も早く浄化していくことが確認できた。吸引孔の位置と投与ポイントの位置からして、界面活性剤が下まで到達する前に吸引され、上部の汚染油のみが浄化され、下部の汚染油は残ってしまうのではないかと懸念されたが、実験を継続していくうちに、徐々に汚染エリアを削っていくように浄化していき、写真-10に示すように7時間で浄化が完了した。

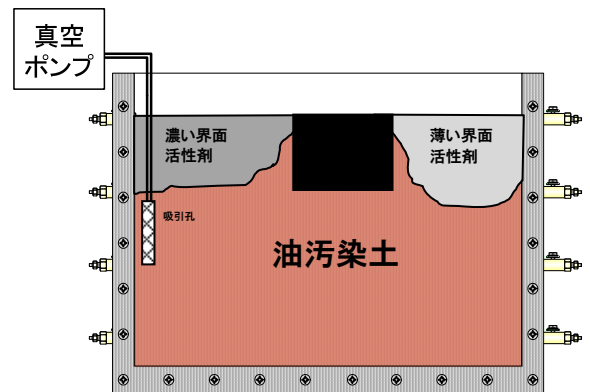


図-3 初期状態

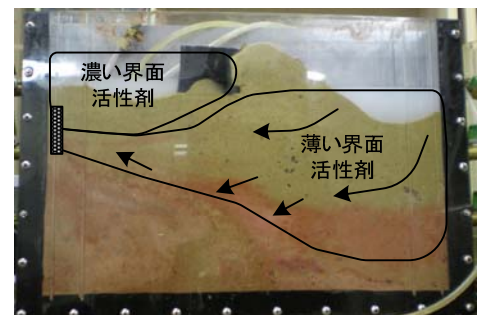


写真-9 実験開始1時間後

3.3 考察

このように濃い界面活性剤による被覆によって、薄い界面活性剤の移動が促進された。ただ、このサイズの土槽では流れの境界が強すぎて、そのアシストが弱い広い流れ場での応用性に不安が残った。そこで、卓上小型 2 次元土槽からスケールアップしても浄化することができるのかを、一時中断していた大型 2 次元土槽を再開することで確認することにした。

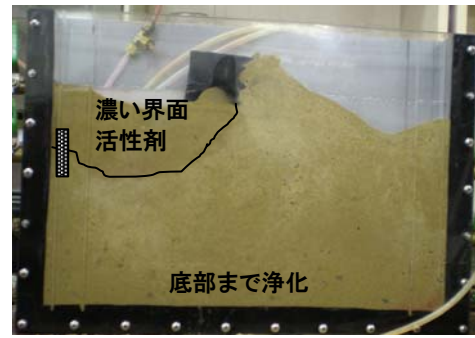


写真 - 10 実験開始 7 時間後

4. 「Two-Region Flow 法」を用いた大型 2 次元土槽浄化実験

4.1 実験方法

追加実験をもとに、2 つの濃度が異なる界面活性剤の流れを作るために、図 - 4 に示したように左側井戸と吸引孔上部に位置する濃い界面活性剤には被覆の役割をさせ、負圧を高めることで、油汚染土の下へもぐってしまう薄い界面活性剤を油汚染土と接触させることができるのではないかと考え大型 2 次元土槽実験を再開した。この方法を以降「Two-Region Flow 法」と呼ぶこととした。毛管上昇ウェルポイント法を用いて浄化しきれなかった 2.2 の大型 2 次元土槽実験の中断状態を、「Two-Region Flow 法」の初期状態(写真 - 11)として再開し、浄化することができるのか確認してみた。

4.2 実験状況

実験開始から 3 時間後の写真 - 12 を見ると、汚染エリアが半分程度浄化されている。実験開始から 8 時間後の写真 - 13 では、ほとんど汚染は浄化され、観測用窓の半分程度汚染が残っているだけとなった。そして写真 - 14 のように「Two-Region Flow 法」に切り替えてから、12 時間で浄化することができた。従来の毛管上昇ウェルポイント法と異なり、「Two-Region Flow 法」では、吸引の際に空気を吸わずに的確に界面活性剤と乳化油を吸引するので効果は絶大であることが観察により確認することができた。

4.3 結果

上記のように「Two-Region Flow 法」へ切り替えてから、わずか 12 時間で全体を浄化することができた。この結果は図 - 4 に示したように、濃い界面活性剤を投与することによって、吸引圧を高めながら空気の流入を低減することで、油汚染土の下へもぐってしまっていた薄い界面活性剤を

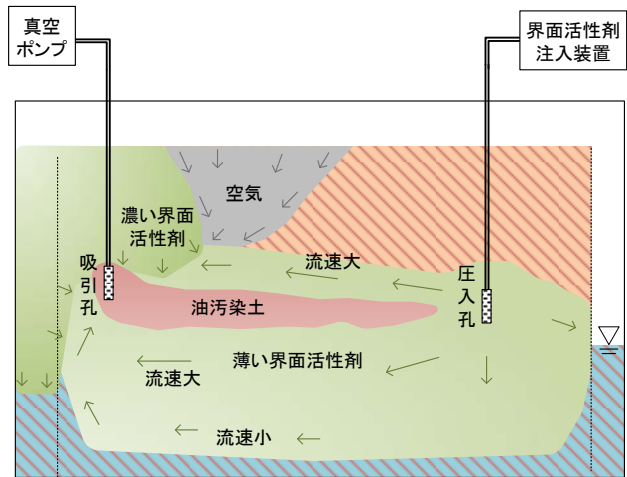


図 - 4 想定される挙動

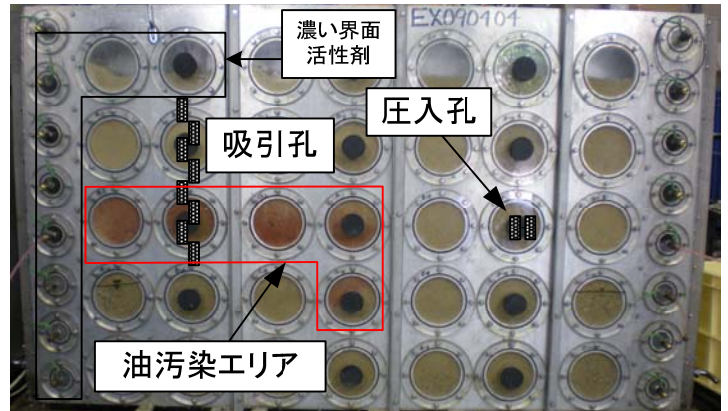


写真 - 11 初期状態

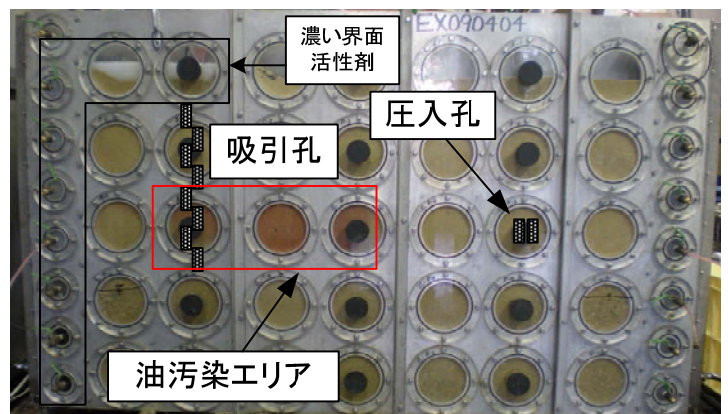


写真 - 12 実験開始 3 時間後

油汚染土にぶつけ、その周りを流れることによって削っていくように浄化されたためである。また、濃い界面活性剤が吸引を行っていない間に自然流下し、覆土表面から 20cm ほどの間隙を閉鎖したので、さらに吸引圧が上昇したことも観察された。

5. 考察と今後の展開

毛管上昇ウェルポイント法では、界面活性剤が横方向へ長い距離を移動する際に、油汚染土の下へもぐってしまい、浄化することができないことが分かった。

そこで新たに考案された「Two-Region Flow法」では、粘性の違いを被覆と実際に浄化する役割をする2つの濃度が異なる界面活性剤を用いることで、吸引圧を高めながら薄い界面活性剤を油汚染土と接触させることができることが分かった。新たに考案された「Two-Region Flow法」を用いて、異なる土・異なる汚染油による汚染地盤の浄化の応用性を広げるため、研究を継続する予定である。

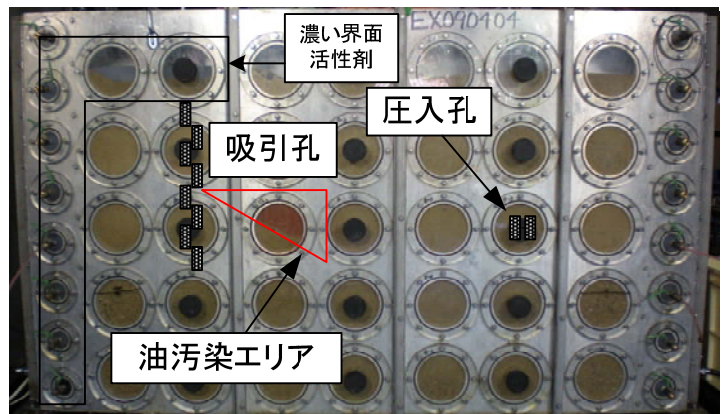


写真 - 13 実験開始 8 時間後

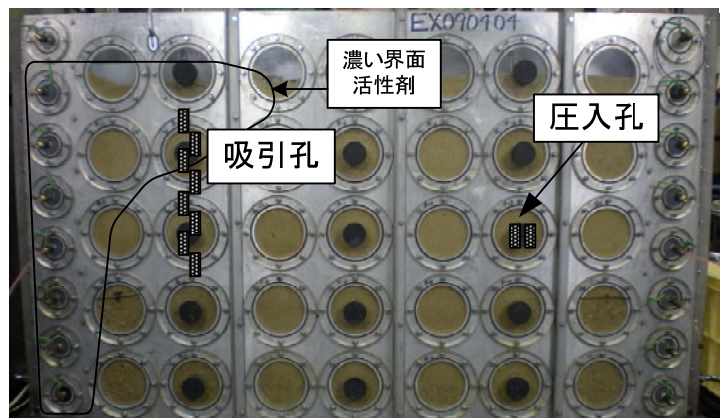


写真 - 14 実験開始 12 時間後

謝辞 この研究には著者らの所属する油汚染土壌の修復技術研究会（大同大学・株式会社エステム・応用地質株式会社・三信建設工業・財団法人東海技術センター・株式会社フジミックス・ミヨシ油脂株式会社）の多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中央環境審議会土壌農薬部会・土壌汚染技術基準等専門委員会：油汚染対策ガイドライン—鉱油類を含む土壌に起因する油臭・油膜問題への土地使用者等による対応の考え方—, 2006.
- 2) 林雅人・窪田豪人・棚橋秀行：界面活性剤と毛管上昇ウェルポイントによる油汚染地盤浄化, 第 15 回 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, pp.126~129, 2009.